

**DER DIAGNOSTISCHE WERT
THERMOGRAPHISCHER UNTERSUCHUNGEN
DER OBEREN EXTREMITÄT**

Christian Mahl

1977



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Orthopädischen Klinik der Universität München
Direktor: Prof. Dr. A.N. WITT

DER DIAGNOSTISCHE WERT
THERMOGRAPHISCHER UNTERSUCHUNGEN DER OBEREN EXTREMITÄT

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München



vorgelegt von
Christian Mahl
aus
Mering
Jahr
1977

Mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin der
Universität München

Berichterstatter: Priv.Do. Dr. W. KEYL

Mitberichtertatter: Prof.Dr. A.N. WITT

Dekan:

Tag der mündlichen Prüfung: 14. 4. 1977



INHALTSVERZEICHNIS

I.	Einleitung	1
II.	Grundlagen der Thermographie	2
	1. Definition des Begriffes	2
	2. Geschichte	2
	3. Physik des infraroten Lichtes	4
	4. Technische Grundlagen der Infrarot- Thermographie	6
III.	Methodik	9
	1. Aufbau des Gerätes "System Barnes" ..	9
	2. Anordnung der Apparatur	10
	3. Untersuchungsablauf	11
IV.	Ergebnisse	13
	1. Krankengut	13
	2. Thermographie der gesunden oberen Extremität	14
	3. Thermographie der erkrankten oberen Extremität	15
V.	Diskussion	22
VI.	Zusammenfassung	33
VII.	Literaturverzeichnis	34
	Lebenslauf	42

I. Einleitung

Die Thermographie erlaubt das Studium der Wärmeverteilung an der Körperoberfläche. Die von LAWSON 1957 in die medizinische Diagnostik eingeführte Methode der kontaktlosen Temperaturmessung hat bereits zu interessanten Erkenntnissen geführt.

Ziel der eigenen Arbeit ist es, den diagnostischen Stellenwert der Thermographie sowie ihre Möglichkeiten und Grenzen in der Orthopädie darzulegen.

Während sich die Untersuchungen von PROSINGER und PSCHORR auf die Erkrankungen der unteren Extremität beziehen, befassen sich die eigenen Ausführungen ausschließlich mit den orthopädischen Erkrankungen und Verletzungen der oberen Extremität.

II. Grundlagen der Thermographie

1. Definition

Die wörtliche Übersetzung aus dem Griechischen bestimmt den Begriff "Thermographie" als Wärmeaufschreibung. Aufgeschrieben wird die Temperatur der Körperoberfläche eines Gegenstandes, hier im speziellen Falle die Temperatur des Menschen über einem bestimmten Körperteil. Als Vergleich zum Pathologischen wird dabei oft die gesunde spiegelsymmetrische Seite desselben Patienten hergenommen. Hierbei wird nicht nur die relative Temperatur, sondern vielmehr die Intensität und die Verteilung der infraroten Eigenstrahlung gemessen. Im Prinzip kann also jede Wärmestrahlung eines bestimmten Körpers, die höher liegt als der absolute Nullpunkt, registriert werden.

Nach WOLFE, der sich um eine exakte Klärung des Terminus "Thermographie" bemühte, sollte der Ausdruck "infrared radiographie" für diese Art der Temperaturmessung gebraucht werden.

Der gängige Begriff "Thermographie" bleibt jedoch weiterhin neben dieser genaueren Definition bestehen.

2. Geschichte

Bereits HIPPOKRATES um 400 vor Chr. bediente sich der Temperaturmessung als diagnostisches Hilfsmittel. Das Abtasten nach der heißesten Körperstelle verwandte er zum Ausfindigmachen eines akuten Krankheitsherd.

Gute 2000 Jahre später wurde von GALILEI das Thermoskop erfunden, das von SANCTORIUS (1562 - 1636) erstmals zur Temperaturmessung verwandt wurde. FAHRENHEIT konstruierte im 18. Jahrhundert, etwa 100 Jahre später, das erste wissenschaftliche brauchbare Thermometer. 1851 fing C.A.WUNDERLICH an, Routinemessungen an Patienten durchzuführen. In einer Leipziger Klinik wurden 25.000 Patienten mit dem "Fieberthermometer" gemessen. Die Wärmestrahlung und deren Messung wurden 1840 von HERSCHEL sen. entdeckt. Die Beziehung zwischen Temperatur der Haut und Infrarotabstrahlung wurde erst von COBET und BRAMIGK (1924) erkannt. Sie zeigten, daß die Infrarote Eigenstrahlung der menschlichen Haut zur Messung der Hauttemperatur benutzt werden kann. 1934 entwickelte HARDY dieses klinische Verfahren weiter und es entstand ein Gerät von wesentlich höherer Empfindlichkeit: das Radiometer. Wegen der hohen Kosten und der Kompliziertheit der Geräte konnten sich diese aber nicht durchsetzen. 1957 wurde dann zum erstenmal die ursprünglich für militärische Zwecke ausgedachte Infrarottemperaturmessung von R.N.LAWSON für diagnostische Anwendung benutzt. Es wurden erstmalig berührungslos und bildhaft "Thermogramme" dargestellt.

GROS und BOURJAT, sowie GANSSEN bringen Übersichten über die bisherigen Anwendungsbereiche in der Thermographie: Früherkennung halbtiefer Karzinome, periphere Kreislaufstörungen, Plazentardarstellung, pathologische Veränderungen der Haut und des Auges. Auch in der Neurologie und der Chirurgie wurden thermographische Untersuchungen vorgenommen. Besonderes Interesse geniest die Thermographie bei der Mammakarzinomdiagnostik (TRICOIRE, die Amerikaner W. BECKER, J. ISARD, R. SHILO, sowie HOEFFKEN, G. BOTHMANN und F. KUBILI).

Arbeiten über thermographische Untersuchungen im orthopädischen Bereich liegen vor von FARREL (1967), MÖRSDORF und KÄRCHER (1968), HENKEL und WATHMOUGH (1969), AARTS (1969), LAAKSON (1970), VIITANEN (1970), POSER (1971), SCHLEGEL und KOOB (1972).

Seit dem Jahre 1969 befindet sich an der Orthopädischen Klinik der Universität München in Harlaching ein "Thermograph", mit dem bereits Untersuchungen bei Patienten mit PcP (THALMANN 1972), Ischiaspatienten (TRÖGER 1972), Patienten der unteren Extremitäten nach Immobilisation im Gipsverband (HALBECK 1974), bei Tumoren (W. KEYL, G.HÖR und FRANKE 1974), Sportverletzungen und Sportschäden des Bewegungsapparates (W. KEYL und P. LENHART 1975) angestellt wurden.

3. Physik des Infraroten Lichtes

Grundsätzlich gibt jeder Körper, der eine Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes besitzt, eine infrarote Eigenstrahlung ab. Infrarote Strahlung, die für die Wärmeabgabe verantwortlich ist, ist wie jedes Licht elektromagnetische Strahlung und liegt in einem Spektralbereich von $0,8 - 300 \mu$. Die Wellenlängen befinden sich nicht im sichtbaren Bereich des Lichtes, sie sind länger. Für diese Art der Energieabgabe wird weder ein anderer Körper, noch ein Medium, sei es flüssig oder gasförmig, benötigt. Die Energieübertragung erfolgt also materiefrei. Daraus ergibt sich auch der Vorteil der Messung: Es wird kein Kontakt benötigt.

Die abgestrahlte Energie hängt immer von der Temperatur des Körpers sowie von seinem Emissionsvermögen, das ist die Fähigkeit der Aussendung von Strahlung,

hier im besonderen Fall von infraroter, ab. Temperatur ist Ausdruck für die Entropie, d.h. ein übergeordnetes Maß für den Grad der Unordnung, der Bewegung der Elementarteilchen. Kinetische Energie wird hierbei in elektrische Energie, in Strahlung, in Wärme umgewandelt. Natürlich zeigt nicht jede einzelne Strahlung dieselbe Intensität. Dieser Beweis ist verankert im Stefan-Boltzmann'schen Gesetz.

Die über alle Wellenlängen integrierte Ausstrahlung einer Fläche, die Intensität, ist direkt proportional der 4. Potenz der absoluten Temperatur.

I = Intensität
E = Emissionsvermögen
 λ = Wellenlänge
h = Planck'sche Konstante
c = Lichtgeschwindigkeit

Wichtig noch für die Physik der Wärmestrahlung ist das Verschiebungsgesetz nach Wien: $\lambda \cdot T = \text{konstant}$. Damit wird ausgedrückt, daß mit abnehmender Temperatur die Wellenlänge zunimmt.

Das PLANCK'sche Strahlungsgesetz $E(\lambda) d\lambda = \frac{hc^2 d\lambda}{\lambda^5} \left(\exp \frac{hc}{\lambda k T} \right)^{-1}$ ermöglicht die Ermittlung des Wellenbereiches und sein Strahlungsmaximum (W.GERLACH). Der mittlere Infrarotbereich ergibt sich demnach als 1,5 - 20 μ mit einem Intensitätsmaximum von 1,5. Diese Gesetze gelten für den idealen Strahler, für die Hohlraumstrahlung eines schwarzen Körpers. Die Praxis fordert die Berücksichtigung der erwähnten Emission. Sie wird in der Regel für den scharfen Strahler gleich 1 gesetzt, ist aber bei nahezu allen realen Strahlern kleiner 1.

Die Hautoberflächentemperatur verhält sich glücklicherweise sehr ähnlich dem Schwarzen Strahler (GANSSEN), so daß es lediglich zu einer Abweichung von weniger als 2 % kommt bei Anwendung eines Indium-Antimonid-Strahlungsdetektors.

4. Technische Grundlagen der Infrarot-Thermographie

Das Holometer stellt das einfachste Infrarotthermometer dar. Es können aber nur Hautflächen von 1 cm^2 gemessen werden. Der erste sogenannte Thermograph war der BARNES-Apparat, der nach demselben Prinzip arbeitet, doch eine direkte Darstellung der gesamten Hauttemperaturverteilung bringt.

Inzwischen weiterentwickelte Geräte sind die Lep-, Aga- und Bofors-Kameras (CH. GROS, M. GAUTHERIE und P. BOURJAT). Die Wellenlänge des infraroten Lichtes liegt im Durchschnitt ungefähr 20 mal höher als die des sichtbaren Lichtes. Demzufolge besitzen sie auch ein Zwanzigstel der Energie der Photonen des sichtbaren Lichtes. Die Energie der Lichtquanten reicht daher kaum aus, eine photographische Platte zu schwärzen. Aus diesem Grunde sind spezielle Infrarotdetektoren entwickelt worden, welche diese Strahlung geringer Energie in ein wirksames elektrisches Signal umwandeln können. Die Impulse, die der Detektor registriert, werden elektronisch verstärkt und können somit sichtbar gemacht werden. Voraussetzung für ein Wärmebild, ein Thermogramm, ist, daß die zu untersuchende Körperfläche in jedem Punkt optisch abgetastet wird, die Impulse im Detektor entsprechend verarbeitet werden, die elektronische Verstärkung erfolgt, um dann Punkt für Punkt abgebildet zu werden.

Dabei werden dann zwei Typen an Detektoren unterschieden:

1. Detektoren, die nach dem Prinzip der elektrischen Widerstandsmessung arbeiten und nicht thermisch selektiv sind. Sie sind aus Indiumantimonid aufgebaut und sprechen besonders gut auf eine Wellenlänge von $6 \mu\text{an}$. Eigenerwärmung durch die auftreffenden infraroten Strahlen ist notwendig. Aus diesem Grunde ist ihre relative Trägheit zu verstehen. Unumgänglich für die gute Bildqualität ist ein hohes Auflösungsvermögen, das durch 10.000 bis 100.000 Bildpunkte erreicht wird. Man benötigt dazu einige Minuten. Der Vorteil liegt in einer großen spektralen Bandbreite.
2. Infrarotquantendetektoren hingegen reagieren schnell. Die Abtastzeiten liegen unter einer Sekunde; dagegen ist ihre Empfindlichkeit nur in einem schmalen Spektralbereich wirksam. Aktivierete Kristalle nehmen die Impulse auf. Wegen der hohen Eigenwärme ist allerdings eine komplizierte Kühlvorrichtung mit flüssigem Stickstoff oder Helium notwendig.

Von BECKMANN wurde die Leistungsfähigkeit eines solchen Systems untersucht und die Größen, die eine thermographische Apparatur kennzeichnen, in folgende drei Gruppen zusammengefaßt:

1. Die Betriebsdaten: Auflösungsvermögen pro Fläche und Zeit
2. Die Daten der Optik in diesem System
3. Die Daten, welche die spektrale Empfindlichkeit des Detektors wiedergeben.

Er brachte alle notwendigen Größen, die für die Qualität eines Wärmebildes bestimmend sind, in nachstehenden mathematischen Zusammenhang:

$$\frac{A \text{ THq} \sqrt{t-t_0}}{n} = \frac{1}{D^x_p \text{ Neff dV}} \cdot \frac{f}{2 B p A_0}$$

Soll ein Wärmebild möglichst hoher Qualität entstehen, muß der Wert auf der rechten Seite der Formel möglichst gering sein. D.h., daß zwischen der Temperaturauflösung, der Zahl der Bildpunkte und der Abtastzeit die Faktoren untereinander abgewogen werden müssen. Es ist die Wurzel zu berücksichtigen, die beispielsweise für eine Verdoppelung der Bildpunkte eine vierfache Aufnahmedauer erfordert.

- AT Δ q = rauschäquivalente Temperaturdifferenz
- n = Zahl der Bildpunkte
- t = Aufnahmedauer
- t₀ = Totzeit
- D^x_p = Detektivität (Gütezahl) des Infrarotdetektors
- Neff = effektive Strahlungsdichte, Radianz des Objekts
- V = relative Änderung der effektiven Strahlung pro Grad Temperaturänderung
- f = Brennweite der Optik
- B = Bildraumwinkel
- p = Wirkungsgrad der Optik
- A₀ = Eintrittsappertur

III. Methodik

1. Aufbau des Gerätes "System Barnes"

Der in der Orthopädischen Klinik der Universität München sich befindende Thermograph wurde von der amerikanischen Firma Barnes Engineering Comp., Stanford, Conn., hergestellt. Es handelt sich um das Modell M1-2, das es während eines Untersuchungsvorganges zu der hohen geometrischen Auflösung von 60.000 Bildpunkten bringt, was genauso vielen Einzeltemperaturen entspricht. Die Temperaturauflösung liegt bei $0,08^{\circ}\text{C}$ in einer Temperaturbreite von 29°C - 38°C . Die Aufnahmezeit beträgt 4 Minuten. Das Gerät stellt einen der zuerstentwickelten Typen dar und ist eine Weiterentwicklung des einfachsten Infrarotdetektors, des Bolometers.

Über den Planspiegel, der im Durchschnitt 45° geneigt ist, wird die Strahlung auf den Kollimatorenspiegel gerichtet, der durch einen Schlagmotor (=Chopper) periodisch hin- und herbewegt wird. Dadurch entsteht am Detektor eines thermisch nicht selektiven Typen eine Wechselspannung, die sich leichter verstärken läßt. Der elektrische Impuls, der nur wenige Mikrovolt beträgt, wird im Endeffekt auf das 1,2 - 10-fache über Vorverstärker und Verstärker maximal verstärkt. Nachdem das elektrische Signal gleichgerichtet und verstärkt ist, trifft es auf eine Glühlampe mit Hohlkathode, die ihre Helligkeit nach den regelmäßig einfallenden Impulsen ändert. Der Lichtstrahl der Lampe wird über einen Abtastspiegel auf einen schwarz-weiß Polaroidfilm geworfen, der innerhalb von 15 Sekunden entwickelt ist und dann nur noch fixiert werden muß.

2. Anordnung der Apparatur

Der Untersuchungsraum, in dem Thermographie durchgeführt wird, soll eine möglichst konstante Temperatur zwischen 18° und 20° C aufweisen, damit keine Verfälschung der Meßergebnisse eintritt. Die Beleuchtungsverhältnisse zeigen hierbei keinen Einfluß auf das entstehende Thermogramm. Da der Abtastvorgang durch den Lichtstrahl eine Zeit von 4 Minuten in Anspruch nimmt, wird der Patient auf einer Bahre untersucht. Im Liegen werden die Eigenbewegungen des Patienten weitgehendst aufgehoben. Dies stellt eine wichtige Voraussetzung für ein brauchbares Thermogramm dar, da sonst ein verzerrtes Bild entsteht. Die abgebildeten Wärmepunkte entsprechen dann nicht mehr den betroffenen anatomischen Punkten des Körpers. Bei Temperaturen unter 18° C werden die Meßergebnisse ebenfalls verfälscht, da Regulationsmechanismen des Körpers wirken und damit Änderungen in der Emissionskonstanten auftreten. Über der oben erwähnten Liege ist ein großer Planspiegel in einem Abstand von 60 cm angebracht. Thermograph, Spiegel und Bahre stellen kein starres System dar, sie sind gegeneinander verschiebbar, so daß Bilder verschiedener Körperregionen und Größen gemacht werden können. Als Temperaturstandard wird die "Thermal Grey"-Skala, ein Gerät mit zehn quadratischen Öffnungen mit einem exakten Temperaturwert zwischen $29,45$ und $37,78^{\circ}$ C nach einer Aufheizzeit von 25 Minuten in die abzubildende Körperregion gebracht. Auf dem Thermogramm erscheinen dann die 10 Öffnungen als Grauwerte verschiedener Intensität. Der Thermograph selbst ist auf einem beweglichen Dreifuß montiert. Je näher er an den Patienten herangeschoben wird, desto größer wird das anzufertigende Thermogramm, d.h. desto kleiner wird die abzubildende Körperpartie.

Außer den bereits beschriebenen Einheiten verfügt der Thermograph noch über einen Kontrollanzeiger, der die Belichtung registriert, sowie Vorrichtungen zur Einstellung der Bildschärfe, des Kurvenmaßstabes und des Meßbereichs. Parallel zur übrigen Kontrollapparatur kann der Verlauf der Wärmeaufnahme auf einem Kathodenoszillographen beobachtet werden. Er garantiert eine optimale Beziehung zwischen Kurvenmaßstab (Brightness) und Empfindlichkeit (Sensitivity). An der Orthopädischen Klinik in München sind linear Wärmeprofile vom Oszillographen abphotographiert worden. Zur Auswertung der erhaltenen Hell-Dunkel-Werte in absolute Temperaturwerte kann der Photokomperator verwendet werden, wobei das mitphotographierte Eichsystem als Grauskala dient.

3. Untersuchungsablauf

Während bei Untersuchungen der unteren Extremitäten und des Rumpfes der Patient auf der Bahre liegt, setzt er sich bei Aufnahmen der oberen Extremitäten vor dieselbe und legt die Hände und Unterarme darauf. Armbänder, Ringe und dergleichen müssen abgenommen werden, da damit die Durchblutung geändert wird und die Wärmeabstrahlung insbesondere durch Metall beeinflusst wird. Bevor der Patient der eigentlichen thermographischen Untersuchung sich unterziehen muß, sollte er nach vollständiger Entkleidung der beiden oberen Extremitäten oder noch besser des ganzen Oberkörpers mindestens 15 Minuten an die Raumtemperatur von ca. 19° C akklimatisiert werden. Außerdem wird der nervöse Faktor, der zweifelsohne die Wärmeregulation beeinflusst, weitgehend reduziert. Die Temperaturanpassung kann durch Einreiben mit Alkohol, Fächeln oder Föhnen über dem

zu thermographierenden Bereich beschleunigt werden. Die Mindestzeit von 15 Minuten sollte unbedingt eingehalten werden (bei adipösen Patienten noch länger), weil erst dann sich konstante Temperaturen eingestellt haben, die sich während der thermographischen Untersuchung nicht mehr ändern dürfen. Inzwischen kann mit der Erhebung der Anamnese begonnen werden. Wird die Akklimatisation nicht mit der nötigen Sorgfalt durchgeführt, äußern sich Konvektionen über dem Objekt als störende helle Wolken. Der Patient sitzt mit entblößtem Oberkörper vor der Liege, und der Thermograph wird auf den richtigen Abstand hingefahren, je nachdem ob lediglich die Hände oder der ganze obere Extremität aufgenommen werden soll. Mit dem über dem Patienten befindlichen Planspiegel kann die Aufnahmeeinstellung noch weiter korrigiert werden. Nachdem nun der wandernde Lichtstrahl mittels des Startknopfes horizontal hin- und herwandert, wird dieser durch die Scharfeinstellung gebündelt. Unter Zuhilfenahme des Kathodenstrahloszillographen stellt man nun die Brightness und Sensivity ein. Für die erste Einstellung empfiehlt sich für die Sensivity der Mittelwert 40, der durch darauffolgende Messungen eingeengt werden kann, um u.U. eindeutige Thermogramme zu erhalten.. Nach Einstellung eines günstigen Ausgangspunktes für den Infrarotstrahl, wird ein Polaroidfilm in die Kamerakassette eingelegt. Dann ist das Gerät betriebsbereit. Die Abtastung mittels Lichtstrahl dauert ca. 4 Minuten. Nach ungefähr einer weiteren halben Minute ist das Bild entwickelt und fixiert und kann sobald es trocken ist katalogisiert werden.

IV. Ergebnisse

1. Krankengut

In den Jahren 1970 bis 1974 wurden aus dem ambulanten und stationären Krankengut der Orthopädischen Universitätsklinik in München thermographische Untersuchungen an der oberen Extremität durchgeführt. Insgesamt wurden 297 Bilder von 129 Patienten angefertigt. Es liegen Thermogramme der Hände, der Unterarme, des ganzen Armes einschl. der Schulter, sowie der HWS vor. In der Regel stellen die Bilder p.a.-Aufnahmen dar (p.a. = posterior-anteriore-Aufnahme). In allen Fällen ist die Diagnose eindeutig gesichert (Tabelle 1).

Tabelle 1: Krankengut

Art der Erkrankung	Zahl der Patienten	Zahl der Bilder
A. Degenerative Erkrankungen	15	28
B. Entzündliche Erkrankungen	28	75
C. Durchblutungsstörungen	7	14
D. Knochen-Tumoren	12	27
E. Periphere Nervenläsionen	40	98
F. Traumatische Erkrankungen	10	21
G. Sonstige Erkrankungen	14	34
gesamt:	129	297

2. Thermographie der gesunden oberen Extremität

Voraussetzung für die Beurteilung der Thermogramme der erkrankten oberen Extremität ist die Kenntnis des Normalfalles.

Die Gelenke der Hand erscheinen im fertigen Thermogramm deutlich dunkler, d.h. kühler als die restliche Hand. Die Abweichungen sind oft geringfügig und zeigen mit dem bloßen Auge kaum Unterschiede. Der von vielen und verhältnismäßig starken Muskeln gebildete Daumenballen zeigt eine deutliche Hyperthermie. Sie nimmt zur ulnaren Seite hin ab, wobei der Temperaturschwund in mäßig unterschiedlichen Grenzen variieren kann. Die Handteller zeigen bei a.p.-Aufnahmen zwischen den Handballen eine mäßige Hypothermie. Gegenüber der Mittelhand sind die Finger kälter, können jedoch bei entsprechender Einstellung gut wiedergegeben werden. Bei Aufnahmen der gesamten oberen Extremität stellt die Oberarmmuskulatur die Region der stärksten Wärmeabstrahlung dar. Die Unterarmmuskulatur ergibt im Bild nicht diese Helligkeit wie der Oberarm. Der Oberarm zeigt wie der Oberschenkel eine fleckenförmige Schattierung. Diese sogenannte Marmorierung ist bei Frauen ausgeprägter und hängt von der subkutanen Fettverteilung ab. Als deutlich hypotherme Zone erweist sich bei p.a.-Aufnahme der Ellenbogen. Wie auch an der unteren Extremität ergibt sich verallgemeinert folgendes Bild: Gelenke, die nahe der Hautoberfläche liegen, erscheinen im Thermogramm als dunkle Regionen, sind gegenüber den Muskelmassen kälter. Mit Hilfe der Thermographie ist absolute Temperaturmessung möglich. Temperaturunterschiede korrespondierender Stellen, die kleiner als $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ausmachen, werden als normal gewertet, Differenzen zwischen $0,5^{\circ}\text{C}$ und $1,0^{\circ}\text{C}$ als fraglich hyper- bzw. hypotherm und Dif-

ferenzen größer als $1,0^{\circ}\text{C}$ als sicher hyper- bzw. hypotherm (Tabelle 2).

Tabelle 2: Befundeinteilung

Temperaturunterschied =====	Thermographischer Befund =====
$< 0,5^{\circ}\text{C}$	normal
$0,5^{\circ}\text{C}$ bis $1,0^{\circ}\text{C}$	fraglich hypertherm/hypotherm
$> 1,0^{\circ}\text{C}$	sicher hypertherm/hypotherm

3. Thermographie bei Erkrankungen der oberen Extremität

Die Befunde der thermographischen Untersuchungen werden im kurzen tabellarisch zusammengefaßt:

Tabelle 3: Degenerative Erkrankungen

Befund =====	hypertherme Zonen sicher	fraglich	Normal- befund	Gesamt- zahl
a) Tendopathien u. Periostosen	4	1	1	6
b) Periarthritis humero-scapularis	-	-	3	3
c) Arthrosen	1	5	-	6

ad a) Bei den drei Tendopathien reicht die Temperaturskala von normotherm bis sicher hypertherm. Bei den Periostosen handelt es sich um drei Epikondylitiden des Humerus, die alle sicher hypertherme Befunde ergaben.

ad b) Die drei Periarthritiden humeroscapularis zeigen keine Temperaturveränderungen.

ad c) Bei den Arthrosen waren Ellenbogen-, Daumensattel- und Fingergrundgelenke betroffen. Sie ergaben hypertherme Befunde, ebenso die aseptische Nekrose im Ellenbogenbereich.

Tabelle 4: Entzündliche Erkrankungen

Befund	hypertherme Zonen		Normal- befund	Gesamt- zahl
	sicher	fraglich		
a) Unspezifische Osteomyelitiden	-	3	-	3
b) Spezifische Osteomyelitiden	2	1	-	3
c) Rheumatische Polyarthritiden	14	4	-	18
d) Arthritis urica	4	-	-	4

ad a) Bei den drei Patienten mit unspezifischer Osteomyelitis waren in zwei Fällen der Oberarm und in einem Fall der Unterarm betroffen. Alle drei Fälle ergaben fragliche Hyperthermie.

ad b) Die zwei Thermogramme bei Tbc der Handknochen waren sicher hypertherm. Die Tbc des Schultergelenkes ergab fragliche Hyperthermie.

ad c) Alle Fälle bei PcP ergaben hypertherme Befunde. (Die Bedeutung der Thermographie bei der Beurteilung der PcP siehe THALMANN, F.H.)

ferenzen größer als $1,0^{\circ}\text{C}$ als sicher hyper- bzw. hypotherm (Tabelle 2).

Tabelle 2: Befundeinteilung

Temperaturunterschied	Thermographischer Befund
$< 0,5^{\circ}\text{C}$	normal
$0,5^{\circ}\text{C}$ bis $1,0^{\circ}\text{C}$	fraglich hypertherm/hypotherm
$> 1,0^{\circ}\text{C}$	sicher hypertherm/hypotherm

3. Thermographie bei Erkrankungen der oberen Extremität

Die Befunde der thermographischen Untersuchungen werden im kurzen tabellarisch zusammengefaßt:

Tabelle 3: Degenerative Erkrankungen

Befund	hypertherme Zonen sicher	fraglich	Normal- befund	Gesamt- zahl
a) Tendopathien u. Periostosen	4	1	1	6
b) Periarthritis humero-scapularis	-	-	3	3
c) Arthrosen	1	5	-	6

ad a) Bei den drei Tendopathien reicht die Temperaturskala von normotherm bis sicher hypertherm. Bei den Periostosen handelt es sich um drei Epikondylitiden des Humerus, die alle sicher hypertherme Befunde ergaben.

ad b) Die drei Periarthritiden humeroscapularis zeigen keine Temperaturveränderungen.

ad c) Bei den Arthrosen waren Ellenbogen-, Daumensattel- und Fingergrundgelenke betroffen. Sie ergaben hypertherme Befunde, ebenso die aseptische Nekrose im Ellenbogenbereich.

Tabelle 4: Entzündliche Erkrankungen

Befund	hypertherme Zonen		Normal- befund	Gesamt- zahl
	sicher	fraglich		
a) Unspezifische Osteomyelitiden	-	3	-	3
b) Spezifische Osteomyelitiden	2	1	-	3
c) Rheumatische Polyarthritiden	14	4	-	18
d) Arthritis urica	4	-	-	4

ad a) Bei den drei Patienten mit unspezifischer Osteomyelitis waren in zwei Fällen der Oberarm und in einem Fall der Unterarm betroffen. Alle drei Fälle ergaben fragliche Hyperthermie.

ad b) Die zwei Thermogramme bei Tbc der Handknochen waren sicher hypertherm. Die Tbc des Schultergelenkes ergab fragliche Hyperthermie.

ad c) Alle Fälle bei PcP ergaben hypertherme Befunde. (Die Bedeutung der Thermographie bei der Beurteilung der PcP siehe THALMANN, F.H.)

ferenzen größer als $1,0^{\circ}\text{C}$ als sicher hyper- bzw. hypotherm (Tabelle 2).

Tabelle 2: Befundeinteilung

Temperaturunterschied	Thermographischer Befund
$< 0,5^{\circ}\text{C}$	normal
$0,5^{\circ}\text{C}$ bis $1,0^{\circ}\text{C}$	fraglich hypertherm/hypotherm
$> 1,0^{\circ}\text{C}$	sicher hypertherm/hypotherm

3. Thermographie bei Erkrankungen der oberen Extremität

Die Befunde der thermographischen Untersuchungen werden im kurzen tabellarisch zusammengefaßt:

Tabelle 3: Degenerative Erkrankungen

Befund	hypertherme Zonen sicher	fraglich	Normal- befund	Gesamt- zahl
a) Tendopathien u. Periostosen	4	1	1	6
b) Periarthritis humero-scapularis	-	-	3	3
c) Arthrosen	1	5	-	6

ad a) Bei den drei Tendopathien reicht die Temperaturskala von normotherm bis sicher hypertherm. Bei den Periostosen handelt es sich um drei Epikondylitiden des Humerus, die alle sicher hypertherme Befunde ergaben.

ad b) Die drei Periarthritiden humeroscapularis zeigen keine Temperaturveränderungen.

ad c) Bei den Arthrosen waren Ellenbogen-, Daumensattel- und Fingergrundgelenke betroffen. Sie ergaben hypertherme Befunde, ebenso die aseptische Nekrose im Ellenbogenbereich.

Tabelle 4: Entzündliche Erkrankungen

Befund	hypertherme Zonen		Normal- befund	Gesamt- zahl
	sicher	fraglich		
a) Unspezifische Osteomyelitiden	-	3	-	3
b) Spezifische Osteomyelitiden	2	1	-	3
c) Rheumatische Polyarthritiden	14	4	-	18
d) Arthritis urica	4	-	-	4

ad a) Bei den drei Patienten mit unspezifischer Osteomyelitis waren in zwei Fällen der Oberarm und in einem Fall der Unterarm betroffen. Alle drei Fälle ergaben fragliche Hyperthermie.

ad b) Die zwei Thermogramme bei Tbc der Handknochen waren sicher hypertherm. Die Tbc des Schultergelenkes ergab fragliche Hyperthermie.

ad c) Alle Fälle bei PcP ergaben hypertherme Befunde. (Die Bedeutung der Thermographie bei der Beurteilung der PcP siehe THALMANN, F.H.)

ad d) Bei den vier Fällen mit Gicht waren in zwei Fällen die Handgelenke, in einem Fall Hand-, Ellenbogen- und Schultergelenk befallen. In einem Fall war nur das Ellenbogengelenk betroffen. Alle vier Befunde waren sicher hypertherm.

Tabelle 5: Durchblutungsstörungen

Befund	hypotherme Zonen		Normalbefund	Gesamtzahl
	sicher	fraglich		
Periphere Durchblutungsstörungen	1	3	3	7

Von den 7 Fällen mit peripheren Durchblutungsstörungen zeigten die Hände drei mal keine, drei mal fragliche und ein mal sichere Hypothermie.

Tabelle 6: Knochentumoren

Befund	hypertherme Zonen		Normalbefund	Gesamtzahl
	sicher	fraglich		
a) Maligne Tumoren	4	-	-	4
b) Benigne Tumoren	2	2	4	8

ad a) Die thermographischen Befunde der vier Sarkome am Oberarm waren in allen Fällen sicher hypertherm.

ad b) Ein Chondrom und ein Osteochondrom ergaben je einen sicher hyperthermen Befund. Ein Fibrom und ein zystischer Tumor erwiesen sich als fraglich hypertherm. Ein Lipom und drei zystische Tumoren zeigten keine Veränderungen im Thermogramm.

Tabelle 7: Periphere Nervenläsionen

Befund	hypotherme Zonen		Normalbefund	Gesamtzahl
	sicher	fraglich		
Periphere Nervenläsionen	23	8	10	41

Von 41 Fällen bei peripheren Nervenläsionen brachten 23 sichere, 8 fragliche und 10 keine Hypothermie. (Thermographische Untersuchungen bei peripheren Nervenläsionen siehe BUBSER, H.P.)

Tabelle 8: Traumatische Erkrankungen

Befund	hypertherme Zonen		Normalbefund	Gesamtzahl
	sicher	fraglich		
a) Bicepssehnenriß	1	-	-	1
b) Luxationen	-	-	2	2
c) Frakturen	1	-	2	3
d) Pseudoarthrosen	-	2	2	4

- ad a) Das Thermogramm liefert über dem ganzen M. biceps brachii sichere Hyperthermie im Seitenvergleich.
- ad b) In einem Fall handelte es sich um eine Schulterluxation, im anderen Falle war das Radiusköpfchen betroffen. Beide Luxationen zeigten thermographische Normalbefunde.
- ad c) Die frischen Frakturen über den Ossa metacarpalia III und IV ergaben sichere Hyperthermie. Eine alte Fraktur des Epikondylus ulnaris und des Corpus ulnaris zeigten keine Temperaturveränderungen.
- ad d) Von den Pseudoarthrosen waren zwei mal die Elle und zwei mal das Os scaphoideum betroffen. Zwei Pseudoarthrosen ergaben fragliche Hyperthermie. Die anderen zwei zeigten Normalbefunde.

Tabelle 9: Sonstige Erkrankungen

Befund	hyperth. Zonen		Normal- befund	hypoth. Zonen		Gesamt- zahl
	sicher	fragl.		sicher	fragl.	
a) Dupuy- tren'. Kontrak- tur	-	-	-	-	1	1
b) Volk- mann'. Kontrak- tur	-	-	-	3	-	3
c) Inaktivi- tätsatro- phie	-	-	2	-	3	5

Fortsetzung der Tabelle 9

Befund	hyperth. Zonen		Normal- befund	hypoth. Zonen		Gesamt- zahl
	sicher	fragl.		sicher	fragl.	
d) Sudeck's. Dystrophie	-	-	-	-	2	2
e) M. Paget	-	-	1	-	-	1
f) Riesen- wuchs	1	-	-	-	-	1
g) Syringo- myelie	-	-	1	-	-	1

ad a) Bei den Dupuytren'sche Kontraktionen waren die Ringfinger der rechten und linken Hand betroffen und zwar links Grad II und rechts Grad I. Eine fragliche Hypothermie zeigte der Ringfinger der linken Hand.

ad b) Die drei ischämischen Kontraktionen an den Händen erwiesen sich in allen drei Fällen als fraglich hypotherm.

ad c) Die Thermogramme der Patienten im Zustand unmittelbar nach Gipsabnahme zeigten zwei Normalbefunde und drei fraglich hypotherme Befunde.

ad d) Zwei Fälle mit Sudeck'scher Dystrophie ergaben fragliche Hypothermien.

ad e) Das Thermogramm des linken Radius bei M. Paget zeigte keine meßbaren Wärmeveränderungen.

ad f) Bei dem Riesenwuchs der Hand fällt vor allem der Daumen auf der, sichtbar verdickt und vergrößert ist und in überdeutlicher Hyperthermie erscheint.

ad g) Die Aufnahmen des Rückens bei Syringomyelie
ließen keine thermographischen Auffälligkeiten erkennen.

V. Diskussion

1. Allgemeiner Teil

A. Variationen des thermographischen Bildes bei Gesunden.

1. Das Thermogramm der gesunden oberen Extremität wurde beschrieben. Zusammenfassend kann man sagen, daß die thermographischen Befunde über den hautnahen Gelenken gegenüber der Muskulatur relative Hypothermie zeigen. Als bestes Beispiel hierfür dürfte sich der Vergleich zwischen der Oberarmmuskulatur und dem Ellenbogengelenk anbieten. Ein kräftiger Muskel, trainiert durch Arbeit und Sport, erfährt eine sehr viel höhere Durchblutung als die bradytrophen Anteile eines Gelenkes. Bei körperlicher Aktivität erstrecken sich muskulöse Anteile weiter in den eigentlichen Gelenkbereich, so daß der hypotherme Bereich verkleinert wird.
2. Die Haut mit ihren einzelnen Schichten und Elementen wie Drüsen, Gefäßen und Haaren (H.v.VOSS) mag eine Andeutung dafür sein, wie sehr doch die Summe der physiologischen Variationen das Normalbild verändern können. Es dürfte nicht unbedeutend sein, ob ein stark behaarter Arm eines Mannes oder ein fast haarloses Ärmchen eines Kindes der thermographischen Untersuchung unterzogen wird. Die Komplexheit der Schweißsekretion mit ihren Komponenten der Psyche, der Innervation, der Gefäßversorgung und des Sekretionsapparates selbst wird bei aller Strenge in der Untersuchungsmethodik Schwankungen zeigen, die zwar nicht von bedeutender Größenordnung sein müssen, doch sich zu den anderen physiologischen Variationen addieren können. Die Hautschichten selbst weisen bei den einzelnen Patienten unterschiedliche Dicke und

Beschaffenheit auf. Ob Thermogramme einer Innenhand eines Arbeiters, die mit einer dicken Hornhaut überzogen ist, und Thermogramme einer zarten Hand einer Sekretärin, abgesehen von der Muskulatur und dem Knochenbau, dieselben Voraussetzungen für die Beurteilung ergeben, stehen durchaus zur Diskussion.

3. Großen Einfluß bei der Beurteilung von Thermogrammen zeigt die subkutane Fettschicht und die darin eingebetteten Venen. Wie unterschiedlich die Lage, das Kaliber und der Verlauf der großen Hautvenen sind, brauchen wohl keinem Kliniker dargelegt werden, wenn er die venöse Blutabnahme bei einer adipösen Dame und einem Arbeiter vergleicht. So ist, wie schon erwähnt, verständlich, daß gerade der Ellenbogenbereich bei a.p.-Aufnahmen Unterschiede aufweist.

B. Einflüsse auf die Entstehung des Thermogrammes.

1. Viele Patienten stehen zum Zeitpunkt der thermographischen Untersuchung unter medikamentöser Behandlung. Gerade bei Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises werden Antiphlogistika und Antipyretika in hoher Dosierung verordnet, sowie lokale Hyperämisierungspharmaka. Bei Erkrankungen im höheren Lebensalter besteht oft Applikation mehrerer Medikamente gleichzeitig. Mit Hilfe der Plattenthermographie untersuchte J. TRICOIRE die Änderungen der Infrarotabstrahlung bei verschiedenen Medikamenten.
2. K. FRANKE macht neben der veränderten Blutzirkulation, die er in Makro- und Mikrozirkulation unterteilt, vor allem Psyche, Vegetatives Nervensystem und Endokrinum für die Thermoregulation verantwort-

lich. Bei den Hormonen erwähnt K. FRANKE die Nebennierenrindenhormone. Ausdruck nervöser Verspannung kann ein erhöhter Muskeltonus sein (J.H. SCHULZ). GROS und BOURJAT wiesen nach, daß bei Vasodilatation die Temperatur ansteigt und bei Vasokonstruktion Temperaturerniedrigung eintritt. Der unmittelbare Effekt durchblutungsfördernder Pharmaka wurde durch die Thermographie direkt beobachtet.

3. Ein veränderter Muskeltonus kommt aber auch bei veränderter Stoffwechsellage, gestörtem Elektrolythaushalt und Schonhaltung vor, gleichfalls bei der Anwendung von Tranquilizern, Muskelrelaxantien und sonstigen das Ruhepotential der quergestreiften Muskulatur beeinflussender Pharmaka. Es sollte also unbedingt nach der Einnahme von Medikamenten, ganz gleich welcher Art, gefragt werden und auch nach dem vorhergehenden Genuß von Kaffee, Nikotin und Alkohol (W. SIEGENTHALER). Die Auswirkungen dieser Faktoren wurden von BARNES bereits 1963 nachgewiesen.
4. Veränderungen und Einflüsse auf die Haut sollten beachtet werden. Affektionen der Extremitäten sind oft von Ödemen, entzündlichen Veränderungen (H. HARDERS u. andere) Hautabschürfungen, frischen und alten Narben begleitet, Injektionen intravenös oder intramuskulär rufen eine lokale Reaktion hervor und zeigen zumindest in der Anfangsphase Hyperthermie.

C. Möglichkeiten der Fehlinterpretation

1. Die Akklimatisation muß mit entsprechender Sorgfalt durchgeführt werden. Als wichtigste Fehlerquellen sind Schweißwerte zu beachten, die wegen der Ver-

dunstungskälte exakte Messungen unmöglich machen (SCHOELER).

2. Bei der Thermographie, die sich vorwiegend auf den Seitenvergleich stützt, darf nicht außer Acht gelassen werden, daß meist eine Extremität mehr beansprucht wird und daß im Falle einer Läsion Schonhaltung der erkrankten Gliedmase und Mehrbeanspruchung der gesunden zutrifft.
3. Nicht alle Affektionen liegen in derselben Entfernung von der Hautoberfläche. Größere Herde können bis zu einer Tiefe von 7 cm geortet werden, die thermographische Veränderungen verursachen (D. LANGE und H. POSER). A. GANSSEN und R. LUTZE plantierten 1969 elektrisch aufgeheizte Wärmequellen ins Gewebe und führten thermographische Messungen anschließend durch, wobei sie zu dem Ergebnis kamen, daß Wärmequellen von 1 cm Durchmesser in 1 cm Tiefe bei Temperaturerhöhung von 2° C eindeutig Veränderungen ergaben. Dies dürfte ein einfacher und klar geführter Beweis dafür sein, daß die Hell-Dunkelwerte auf der photographischen Platte nur durch Wärmeveränderungen, hier physikalisch und im Normalfalle physiologisch, zustande kommen.
4. SCHOELER weist daraufhin, daß der Ort der Störung nicht identisch sein muß mit dem Ort der Beschwerden. G. NOTTER und O. MELANDER machen unter anderem eine venöse Drainage und unterschiedliches Wärmeleitvermögen der Umgebung dafür verantwortlich.

Spezieller Teil

=====

Ziel der modernen Medizin ist eine exakte Diagnose zu stellen. Für die Durchführung einer erfolgreichen Therapie sind verschiedene Kriterien Voraussetzung:

1. Artspezifität
2. Ausdehnung des Prozesses
3. Aktivitätszustand
4. Verlaufskontrolle

1. Artspezifität

Während der Großteil der entzündlichen, degenerativen, tumorösen Erkrankungen, sowie manche frische Traumen im thermographischen Bild als Erkrankungen mit lokaler Überwärmung verifiziert werden konnten, erbrachten die peripheren Nervenläsionen, Durchblutungsstörungen und die Gruppe mit atrophischen Befunden verminderte Wärmeabgabe über dem pathologischen Geschehen. Innerhalb dieser Gruppen konnte anhand der Thermogramme allein nie entschieden werden, welche spezifische Erkrankungen im Einzelfalle vorlag.

Bei der Erfassung von "hot spots", wie FARRELL, WALLACE und EDEIKEN thermographisch erfaßte lokale Überwärmungen nennen, besteht zwar die Möglichkeit einer genauen Lokalisation der erhöhten Verstoffwechselung, doch ob der Prozeß metabolischer, tumoröser oder entzündlicher Natur ist, kann aus dem Thermogramm nicht herausgelesen werden (GERSHON-COHEN, HABERMANN).

Auch die Ätiologie der Hyperthermie aufgrund einer Entzündung kann im Thermogramm nicht geklärt werden, und so kann nicht differenziert werden, ob Kinine, vermehrte Reibung, gestörter Mucopolysaccharidstoffwechsel, Ein-

dunstungskälte exakte Messungen unmöglich machen (SCHOELER).

2. Bei der Thermographie, die sich vorwiegend auf den Seitenvergleich stützt, darf nicht außer Acht gelassen werden, daß meist eine Extremität mehr beansprucht wird und daß im Falle einer Läsion Schonhaltung der erkrankten Gliedmase und Mehrbeanspruchung der gesunden zutrifft.
3. Nicht alle Affektionen liegen in derselben Entfernung von der Hautoberfläche. Größere Herde können bis zu einer Tiefe von 7 cm geortet werden, die thermographische Veränderungen verursachen (D. LANGE und H. POSER). A. GANSSEN und R. LUTZE plantierten 1969 elektrisch aufgeheizte Wärmequellen ins Gewebe und führten thermographische Messungen anschließend durch, wobei sie zu dem Ergebnis kamen, daß Wärmequellen von 1 cm Durchmesser in 1 cm Tiefe bei Temperaturerhöhung von 2° C eindeutig Veränderungen ergaben. Dies dürfte ein einfacher und klar geführter Beweis dafür sein, daß die Hell-Dunkelwerte auf der photographischen Platte nur durch Wärmeveränderungen, hier physikalisch und im Normalfalle physiologisch, zustande kommen.
4. SCHOELER weist daraufhin, daß der Ort der Störung nicht identisch sein muß mit dem Ort der Beschwerden. G. NOTTER und O. MELANDER machen unter anderem eine venöse Drainage und unterschiedliches Wärmeleitvermögen der Umgebung dafür verantwortlich.

Spezieller Teil

=====

Ziel der modernen Medizin ist eine exakte Diagnose zu stellen. Für die Durchführung einer erfolgreichen Therapie sind verschiedene Kriterien Voraussetzung:

1. Artspezifität
2. Ausdehnung des Prozesses
3. Aktivitätszustand
4. Verlaufskontrolle

1. Artspezifität

Während der Großteil der entzündlichen, degenerativen, tumorösen Erkrankungen, sowie manche frische Traumen im thermographischen Bild als Erkrankungen mit lokaler Überwärmung verifiziert werden konnten, erbrachten die peripheren Nervenläsionen, Durchblutungsstörungen und die Gruppe mit atrophischen Befunden verminderte Wärmeabgabe über dem pathologischen Geschehen. Innerhalb dieser Gruppen konnte anhand der Thermogramme allein nie entschieden werden, welche spezifische Erkrankungen im Einzelfalle vorlag.

Bei der Erfassung von "hot spots", wie FARRELL, WALLACE und EDEIKEN thermographisch erfaßte lokale Überwärmungen nennen, besteht zwar die Möglichkeit einer genauen Lokalisation der erhöhten Verstoffwechselung, doch ob der Prozeß metabolischer, tumoröser oder entzündlicher Natur ist, kann aus dem Thermogramm nicht herausgelesen werden (GERSHON-COHEN, HABERMANN).

Auch die Ätiologie der Hyperthermie aufgrund einer Entzündung kann im Thermogramm nicht geklärt werden, und so kann nicht differenziert werden, ob Kinine, vermehrte Reibung, gestörter Mucopolysaccharidstoffwechsel, Ein-

dunstungskälte exakte Messungen unmöglich machen (SCHOELER).

2. Bei der Thermographie, die sich vorwiegend auf den Seitenvergleich stützt, darf nicht außer Acht gelassen werden, daß meist eine Extremität mehr beansprucht wird und daß im Falle einer Läsion Schonhaltung der erkrankten Gliedmase und Mehrbeanspruchung der gesunden zutrifft.
3. Nicht alle Affektionen liegen in derselben Entfernung von der Hautoberfläche. Größere Herde können bis zu einer Tiefe von 7 cm geortet werden, die thermographische Veränderungen verursachen (D. LANGE und H. POSER). A. GANSSEN und R. LUTZE plantierten 1969 elektrisch aufgeheizte Wärmequellen ins Gewebe und führten thermographische Messungen anschließend durch, wobei sie zu dem Ergebnis kamen, daß Wärmequellen von 1 cm Durchmesser in 1 cm Tiefe bei Temperaturerhöhung von 2°C eindeutig Veränderungen ergaben. Dies dürfte ein einfacher und klar geführter Beweis dafür sein, daß die Hell-Dunkelwerte auf der photographischen Platte nur durch Wärmeveränderungen, hier physikalisch und im Normalfalle physiologisch, zustande kommen.
4. SCHOELER weist daraufhin, daß der Ort der Störung nicht identisch sein muß mit dem Ort der Beschwerden. G. NOTTER und O. MELANDER machen unter anderem eine venöse Drainage und unterschiedliches Wärmeleitvermögen der Umgebung dafür verantwortlich.

Spezieller Teil
=====

Ziel der modernen Medizin ist eine exakte Diagnose zu stellen. Für die Durchführung einer erfolgreichen Therapie sind verschiedene Kriterien Voraussetzung:

1. Artspezifität
2. Ausdehnung des Prozesses
3. Aktivitätszustand
4. Verlaufskontrolle

1. Artspezifität

Während der Großteil der entzündlichen, degenerativen, tumorösen Erkrankungen, sowie manche frische Traumen im thermographischen Bild als Erkrankungen mit lokaler Überwärmung verifiziert werden konnten, erbrachten die peripheren Nervenläsionen, Durchblutungsstörungen und die Gruppe mit atrophischen Befunden verminderte Wärmeabgabe über dem pathologischen Geschehen. Innerhalb dieser Gruppen konnte anhand der Thermogramme allein nie entschieden werden, welche spezifische Erkrankungen im Einzelfalle vorlag.

Bei der Erfassung von "hot spots", wie FARRELL, WALLACE und EDEIKEN thermographisch erfaßte lokale Überwärmungen nennen, besteht zwar die Möglichkeit einer genauen Lokalisation der erhöhten Verstoffwechselung, doch ob der Prozeß metabolischer, tumoröser oder entzündlicher Natur ist, kann aus dem Thermogramm nicht herausgelesen werden (GERSHON-COHEN, HABERMANN).

Auch die Ätiologie der Hyperthermie aufgrund einer Entzündung kann im Thermogramm nicht geklärt werden, und so kann nicht differenziert werden, ob Kinine, vermehrte Reibung, gestörter Mucopolysaccharidstoffwechsel, Ein-

sprossung von Kapillaren, immunbiologischen Vorgänge oder allgemein erhöhte Stoffwechsellage den Grund der Entzündung darstellen (E.MARTIN). Die Hyperthermie bei degenerativen Erkrankungen mag als Begleitentzündung interpretiert werden (H.U.ZOLLINGER).

Eine Artdiagnose bei Tumoren des Bewegungsapparates ergibt weder die Thermographie noch die Szintigraphie. Dabei ist die Szintigraphie der Thermographie überlegen, obwohl auch sie nicht eine Differenzierung zwischen knöchernen, metabolischen und die Weichteile betreffenden Prozesse erlaubt. Höheren diagnostischen Aussagewert hat die Angiographie, doch eine endgültige Klärung muß der Probebiopsie vorbehalten bleiben. (W.KEYL, G.HÖR). Periphere Durchblutungsstörungen ergaben Hypothermie, die sowohl durch herabgesetzten Durchblutungsfluß, als auch durch Stase zu erklären ist (P.I.BRANEMARK).

Ebenfalls mit Hypothermie geben periphere Nervenläsionen einher (P.BUBSER), gleichfalls jede Form der Inaktivität (W.HALBECK) und andere atrophische Prozesse, sodaß vom thermographischen Bild allein kaum eine spezifische Diagnose erwartet werden kann.

2. Ausdehnung

Hautnahe Prozesse mit Temperaturänderungen lassen sich in ihrer Ausdehnung besser erfassen als solche, die von einem relativ dicken Weichteilmantel umgeben sind. Die Periarthritiden humeroscapularis ergaben wahrscheinlich durch die anatomische Lage bedingt Normothermie, wo hingegen die Tendonvaginittiden am Arm und die Epikondylitiden humeri zum Teil leicht zu deutende hypertherme Thermogramme lieferten. Eine exakte Ortung des schmerzhaften Prozesses mag besonders für die lokale Injektion von Antiphlogistika und Lokalanästhetika von Bedeutung sein.

Bei längerdauernden Erkrankungen kann das Ausmaß nicht nur durch die direkte Veränderung über den primären Krankheitsherd, sondern auch durch die auftretende Schonhaltung des zugehörigen Muskelapparates, sowie der zusätzlichen Belastung der kontralateralen Extremität erfaßt werden. Als Folge einer Arthrose werden die benachbarten Muskeln des geschädigten Gelenkes durch unwillkürliche Innervation in einen Zustand erhöhter Spannung versetzt um die Gelenkbewegungen zu bremsen oder zu verhindern (B.SCHULER, E.PETER). Die gesteigerte Durchblutung dieser Muskelgruppen führt zu erhöhter Wärmeabgabe und kann thermographisch sichtbar gemacht werden.

Thermographische Untersuchungen an peripheren Nervenläsionen führte P.BURSER aus, sodaß eine umfangreiche Erörterung in seiner Arbeit zu suchen ist. Es handelt sich um Patienten, die vor Jahren oder Jahrzehnten verletzt worden waren. Thermographiert wurden hauptsächlich die Hände, und das Ergebnis erbrachte im allgemeinen eine Hypothermie des geschädigten Innervationsgebietes. Es besteht also eine gute Übereinstimmung zwischen hypothermem Bereich und dem sensiblen Versorgungsgebiet.

Das Ausmaß der Durchblutungsstörungen kann durch die Thermographie gut abgeschätzt werden (CH.GROS, M.GAUTHERIE, P.BOURJAT). Bei Verschuß einer tiefliegenden Arterie wird der Blutstrom zum Teil durch die oberflächlichen Zirkulationsströme umgeleitet. Dadurch ergibt sich im Thermogramm eine diffuse Erwärmung in Höhe des tiefliegenden Verschlusses und distal davon eine Abkühlung infolge der Ischämie.

Nach Sicherung der Diagnose bei Entzündungen und Tumoren läßt sich die Ausdehnung des gesteigerten Stoffwechsels verifizieren. Während bei der Beurteilung von Knochengeschwulsten die Thermographie kaum über das akademische Interesse hinausgekommen ist (W.KEYL, G.HÖR), erweist

sie sich bei Gelenkentzündungen, insbesondere bei der PcP, als gute Methode für die Erfassung der lokalen Wärmeveränderung (F.H.THALMANN).

3. Aktivitätszustand

Verschiedene Erkrankungen des Skelets verursachen häufig Beschwerden, bevor klinisch und radiologisch objektivierbare Zeichen bestehen.

So können beispielsweise eine beginnende PcP (E.MARTIN), Knochenmetastasen oder eine hämatogene Osteomyelitis (A.KÖHLER, E.ZIMMER) nicht objektiviert werden, obwohl sie bereits verdächtige Beschwerden machen. Im Falle der akuten Osteomyelitis hinkt der röntgenologische Befund dem klinischen um drei Wochen nach (A.KÖHLER, E.ZIMMER), sodaß hier die Thermographie als Screeningmethode einen ganz frühen Aktivitätsgrad dieser sehr ernst zu nehmenden Erkrankung erfaßt. N.J.M.AARTS berichtet von der erfolgreichen Anwendung der Infrarotthermographie bei Osteomyelitis in der Pädiatrie. Die Thermographie, die jede Steigerung des Stoffwechsels registriert, vermag in solchen Fällen recht oft positive Befunde zu erbringen. Es kommt ihr somit diagnostische Bedeutung zur Früherfassung zu, obwohl sie keine Artdiagnose erbringen kann.

Andererseits können klinische Symptome und radiologischer Befund die Diagnose einer bestimmten Erkrankung zwar erbringen, erlauben jedoch keinen Hinweis zum Aktivitätszustand während des Krankheitsgeschehens.

Bei einer chronisch rezidivierenden Osteomyelitis bestehen im Röntgenbild meist erhebliche Unterschiede, es läßt sich jedoch nicht immer entscheiden, ob es sich um einen floriden oder stummen Prozeß handelt. Auch die Beurteilung des Aktivitätszustandes bei der rheumatischen Arthritis ist aus der BKS, dem Schwellungszustand und der Funktionsminderung der Gelenke nur annähernd zu erfassen. Gerade bei dieser Krankheitsgruppe vermag die Thermographie wesentliche Hinweise zum Aktivitätszustand liefern (F.H.THALMANN).

Über den Wert der Thermographie zur Bestimmung der Malignität bei Knochentumoren kann derzeit noch kein einheitlicher Schluß gefaßt werden, da unterschiedliche Ergebnisse und eine begrenzte Patientenzahl vorliegen. Nicht mit dem Ergebnis von H.POSER stimmt überein, daß benigne Skelettumoren "kalt" erscheinen. Daß neoplastische Veränderungen "heiß" sind, stimmt mit den eigenen Untersuchungen und denen anderer Autoren (C.FARELL, J.WALLACE, H.EDEIKEN, sowie H.POSER als auch W.KEYL, G.HÖR) überein. Es ist zwar so, daß maligne Prozesse mit einer Hyperthermie einhergehen, daß aber auch benigne Prozesse in nicht unbeträchtlicher Zahl hypertherm sind. Folglich läßt sich keine Unterscheidung ob gut- oder bösartig anhand der Thermographie anstellen.

4. Verlaufskontrolle

Aus dem bisher Gesagten mag entnommen werden, daß die Infrarotthermographie in der Diagnostik keine Artspezifität besitzt. Sie zeigt aber sehr früh Veränderungen in der Ausdehnung und im Aktivitätszustand an.

- . -

Dabei bringt sie für den Patienten keinerlei Belastung. Es sind keine Strahlenschäden zu befürchten, die Untersuchung ist schmerzlos und außerdem billig. Gerade bei ständiger Wiederholung der Untersuchung spricht der geringe Aufwand und die Unschädlichkeit für die Anwendung der IR-Thermographie bei Verlaufskontrollen (H.POSER). Eine geringe Differenz der Wärmeabgabe im Vergleich zum vorhergehenden Thermogramm ist ein Hinweis dafür in welche Richtung, ob Besserung oder Verschlechterung, das Krankheitsbild verläuft.

Besonders wertvoll erscheint der Einsatz der Thermographie bei Erkrankungen, bei denen Röntgenologie und Laboratoriumsdiagnostik begrenzten oder keinen Aussagewert brachten. Die Tendovaginitiden entziehen sich, sofern sie nicht Teil einer rheumatischen Erkrankung wie Pcp sind, oder einer spezifischen Entzündung wie der Tbc angehören, den Labormethoden (P.PITZEN, H.RÖSSLER). Die Verlaufskontrolle mittels Thermographie scheint sich hier gut anzubieten.

Änderungen im Krankheitsverlauf unter medikamentöser Therapie als auch postoperativ wurden untersucht. Dabei eignet sich die thermographische Verlaufskontrolle nach Synovektomie erst ab zwei Monaten nach der Operation, da postoperative Hypervaskularisation und die Wundheilungsphänomene zu Hyperthermie führen, ohne daß am Erfolg der Therapie gezweifelt wird (F.H.THALMANN).

Die Verlaufskontrolle einer veränderten peripheren Durchblutung pathologischer (M.GLOOK) oder artifizieller Art kann thermographisch durchgeführt werden. HERMA van VOSS und ebenso CH.GROSS und P.BOURJAT beobachteten den Effekt durchblutungsfördernder Pharmaka, L.C.TUNG, R.HÄRING,

B.STALLKAMP registrierten die Mehrdurchblutung nach Akupunktur bei chronisch arteriellen Durchblutungsstörungen mit der IR-Thermographie.

In der Verlaufskontrolle bei Tumoren ist die Szintigraphie der Thermographie an Genauigkeit zwar prinzipiell überlegen, doch bei sehr häufigen Kontrollen ist in Erwägung zu bringen, ob man nicht doch die Thermographie anwendet, da sie unbelastender und auch billiger ist. Bei Übergang vom "kalten" in einen "heissen" Tumor sollten dann sofort gezieltere diagnostische Maßnahmen eingesetzt werden, da ein "heißer" Tumor dringend der Malignität verdächtig ist (H.POSER).

Frische Frakturen gehen mit erhöhter lokaler Temperatur einher. Die Ursache ist in einer Stoffwechselsteigerung und einer vermehrten Durchblutung zu suchen, die bei ungestörter Heilung mit Kallusbildung auftreten (W.HAASE, J.JPSEN, H.LEONHARDT, A.N.LVOV, M.G.GIEBEL). Ein Thermogramm ohne Abweichung von der Normaltemperatur stellt sich frühestens nach acht bis zehn Monaten ein (L.HENKEL, G.WATMOUGH). Bei deutlicher Erwärmung über diesen Zeitpunkt hinaus sollte an eine Pseudoarthrose oder an eine Osteomyelitis gedacht werden.

Jede Ruhigstellung führt zu einer Verschmälerung der Kapillarschlingen (W.THORBAN und G.SCHÖNBACH). Bei Hypothermien stärkeren Grades, vor allem distal eines Affektes sollte Nerven- und Gefäßläsionen ausgeschlossen werden. Die thermographischen Änderungen sind wiederum unspezifisch, doch sollten nach Verletzungen und Operationen Abweichungen vom normalen Thermogramm zu erhöhter Wachsamkeit anhalten.

VI. Zusammenfassung

Diese Arbeit nimmt Stellung zum Wert der Thermographie bei Erkrankungen der oberen Extremität. Ausgewertet wurden 297 Thermogramme von 129 Patienten mit den verschiedensten orthopädischen Erkrankungen. Sinn und Wert der Methode können aufgrund folgender Kriterien beurteilt werden.

1. Die Thermographie eignet sich gut zur Erfassung des A k t i v i t ä t s z u s t a n d e s.
2. Sie bietet sich zu V e r l a u f s k o n t r o l l e n an.
3. Sie ermöglicht Aussagen zur A u s d e h n u n g bei oberflächlich, hautnah gelegenen Prozessen.
4. Die Thermographie liefert keine Hinweise zur A r t - s p e z i f i t ä t.



Abb.1: Thermogramm beider Hände: Gute Venenzeichnung



Abb.2: Thermogramm beider Hände bei Ulnarislähmung li:
Hypothermie im sensiblen Versorgungsgebiet



Abb.3: Thermogramm beider Hände bei Daumenhyperplasie:
Hyperthermie des betreffenden Daumens

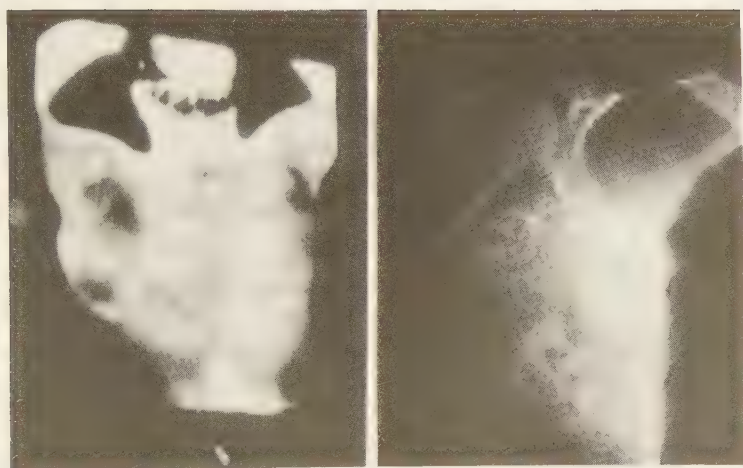


Abb.4: Chondrom rechter Schultergürtel: a.Thermogramm,
b.Röntgenbild



Abb.5: Chronische Polyarthriti li Ellbogen:
Hyperthermie des Gelenkes

Literaturverzeichnis

- AARTS, N.J.M. Some Experiences with Thermo-
graphie. Journal de Radiolo-
gie 48 (1967) 76
- AARTS, N.J.M. Medische Thermographie.
Groningen: Med. Diss. 1969
- BARNERS, R.B. Thermographie of the human
body. Science 140 (1963) 870
- BECKER, W., ISARD, J., Breast Thermographie After
SHILO, R. Four Years and 10 000 Stu-
dies. Amer. J. Roentgenol.
115 (1972) 811
- BECKMANN, L. Bilddarstellung von Oberflä-
chentemperaturen mit Hilfe der
infraroten Eigenstrahlung.
Journal de Radiologie 48 (1967)
35
- BOTHMANN, G., KUBILI, F. Die Flüssig-Kristall-Thermo-
graphie. Fortschritte der
Medizin 2 (1974)
- BRANEMARK, P.I. Biologic and Clinical Evalua-
tion of Thermography. Journal
de Radiologie 48 (1967) 69
- BUBSER, H.P. Thermographische Untersuchun-
gen bei peripheren Nervenläsio-
nen. München: Med. Diss. 1976
in Vorbereitung

- COBET, R., BRAMIGK, F. Über Messung der Wärmestrahlung der menschlichen Haut und ihre Bedeutung. Dtsch. Arch. Klin. Med. 144 (1924) 45
- FARREL, C., WALLACE, J. Thermography and Osteosarcoma Radiology 9 (1968) 792
- EDEIKEN, J.
- FRANKE, K. Haut- und Muskelrezeptoren und vegetatives System. Zeitschr. f. Allg. Med. 3 (1974) 130
- FRANKE, P. Thermographische Untersuchungen bei Knochentumoren. München: Med. Diss. 1974
- GANSSEN, A. Medizinische Thermographie. Röntgenpraxis 5 (1971) 97-109
- GANSSEN, A., LUTZE, R. International Convergence of Medical and Biological Engineering. Chicago 1969
- GERLACH, W. Physik, Das Fischer Lexikon. Fischer Bücherei, Frankfurt 1967
- GERSHON-COHEN, J.,
HABERMANN, D. Medical Thermography. American Journal of Roentgenology 94 (1965) 735
- GIEBEL, M.D. Arterielle und venöse Durchblutungsänderungen im Verlaufe der Frakturheilung an Extremitäten. Arch. orthop. Chir. 56 (1964) 7

- HARDY, I.D. The Radiation of Heat from Human Body I, II An Instrument for Measuring the Radiation of Surface Temperature and of Skin. J. Clin. Invest. 13 (1934) 817
- HEERMA van VOSS, S.F.C. Some Experiences with Thermography. Journal de Radiologie 48 (1967) 79
- "-, THOMAS, P. Medical Thermography, Basel: Karger 1969
- HENKEL, L., WATMOUGH, D. Die Thermographie in der Orthopädie Z. Orthopädie 106 (1969) 4
- HERSCHEL, C.F.W. Clinical Thermograph. reff. in BARNES, R.B. J. of the Amer. Med. Assoc. 185 (1963)
- HOEFFKEN, W. Mammographie und Thermographie der weiblichen Brust als Vorsorgeuntersuchung. Z. f. Allgemeinmedizin / Der Landarzt 49 (1973) 206
- JPSSEN, J. Messungen der Hauttemperatur bei chirurgischen Krankheiten. Hospitalstidende 68 (1925) 944
- KEYL, W., HÖR, G. Angiographie, Szintigraphie und Thermographie bei Knochentumoren. Münchener med. Wschr. 116 (1974) 307

- KEYL, W., LEHNHART, P. Die Thermographie bei Sportverletzungen und Sportschäden des Bewegungsapparates. Münchener med. Wschr. 93 (1975) 3
- KÖHLER, A., ZIMMER, E.A. Grenzen des Normalen und Anfänge des Pathologischen im Röntgenbild des Skeletts. Stuttgart: Thieme 1974 (II. Auflage)
- KOOB, E., SCHLEGEL, K.F. Die Bedeutung der Thermographie bei der Beurteilung und Behandlung der PcP. Beiträge zur Orthopädie 18 (1971) 174
- LAAKSON, A.L. Thermographie in Rheumatoid Arthritis, Acta Rheum. Scand 16 (1970) 91
- LAWSON, R.N. Thermography a New Tool in the Investigation of Breast Lesions. Canad. Med. Ass. J. 13 (1957) 517
- " - Temperature Measurements of Localised Pathological Processes. Ann. N.Y. Acad. Sci. 121 (1957) 90-98
- LEONHARDT, H. Oszillographische Untersuchungen bei Frakturen und nach Knochen-
transplantationen. Langenbecks Arch. Klin. Chir. 119 (1922) 520

- LVOV, A.N. Zur Bedeutung der Temperatur
bei Knochenbrüchen. Khirurgijy
10 (1938) 64
- MARTIN, E. Die PcP. Rheumatologie in der
täglichen Praxis, Lugano:
Äsopus Verlag 1972
- MÖRSDORF, D., KÄRCHER, K.H. Die medizinische Anwendung der
Infrarotdiagnostik mit Hilfe
des Scannigverfahrens. Med.
Welt (1968) 2825-2827
- NOTTER, G., MELANDER, O. Klinische Diagnostik mit Ther-
movision. Röntgen-Blatt 21
(1968) 49
- PITZEN, P., RÖSSLER, H. Kurzgefaßtes Lehrbuch der
Orthopädie. München: Urban
u. Schwarzenberg 1973
- POSER, H. Infrarotthermographie bei Kno-
chenerkrankungen. Therapiewo-
che 20 (1971) 1625
- POSER, H., LANGE, D., Infrarotthermographie mit einem
MÖRSDORF, D. nuklearmedizinischen Scanner.
Strahlentherapie 140 1(1970)
123
- PROSINGER, M. Thermographische Untersuchungen
des Kniegelenks. München: Med.
Diss. 1975
- PSCHORR, W. Thermographische Untersuchungen
der unteren Extremität. München:
Med. Diss. in Vorbereitung 1975

- SCHOELER, H. Über Thermographie. Med. Welt
33 (1966) 1710-1716
- SCHULER, B., PETER, E. Rheuma-Diagnostika Heft 2
Lugano:Aesopus Verlag 1968
- SCHULZ, J.H. Übungsheft für das autogene
Training. Stuttgart: Thieme
1974
- SIEGENTHALER, W. Klinische Pathophysiologie
Stuttgart: Thieme 1973
- THALMANN, F.H. Die Bedeutung der Thermogra-
phie bei der Beurteilung der
PcP. München: Med. Diss. 1972
- THORBAN, W., SCHÖNBACH, G. Durchblutungsänderungen im Ver-
lauf von Frakturheilungen nach
Unfalltraumen. Hefte z. Monat-
schr. Unfallheilkunde 66 (1960/
61) 220
- TRICOIRE, J. La Thermographie en Plaque.
Presse Medicale 55 (1970) 2481
- TRÖGER, H. Thermographische Untersuchungen
der unteren Extremitäten bei
Ischiaspatienten. München: Med.
Diss. 1972
- TUNG, L.C., HÄRING, R.
STALLKAMP, B. Akupunktur zur Schmerzbehand-
lung bei arteriellen Durchblu-
tungsstörungen. Med. Welt 25
(1974) 754

VIITANEN, A.

Thermographie in Juvenil
Theumathoid Arthritis. Acta
Rheum. Scand. 16 (1970) 124

WOLFE, W.L.

Infrared Imaging Deviees in
Infrared Medical Radiography
Ann. of the Nr. 4 Acad. Sci.
121 (1964)

ZOLLINGER, H.U.

Pathologische Anatomie.
Stuttgart: Thieme 1971

LEBENS LAUF

von

CHRISTIAN KARL M A H L

- | | |
|------------------|--|
| 5. Januar 1949 | als viertes Kind des kriegsblinden Michael Mahl und seiner Frau Berta, geborene Müller, in Mering, Kreis Friedberg (Bayern) geboren, |
| September 1955 | Eintritt in die Volksschule Mering, |
| September 1960 | Eintritt in das Holbein-Gymnasium, damalige Oberrealschule, Augsburg, |
| 20. Juni 1970 | Abitur des naturwissenschaftlichen Zweiges am Holbein-Gymnasium Augsburg, |
| 15. Oktober 1970 | Studium der Chemie und Biologie an der TU München bis zum |
| 15. April 1971 | Beginn des Studiums der Medizin an der Universität München, |
| im Oktober 1971 | naturwissenschaftliche Vorprüfung, |
| im April 1973 | vollständig bestanden ärztliche Vorprüfung, |
| 24. Juni 1976 | Abschluß des Staatsexamens in Medizin, |
| 2. August 1976 | Beginn der Medizinalassistentenzeit im Städt. Krankenhaus Schwabmünchen. |

